Lane Medical Library

IN WIEWEIT WIRD DIE FESTIGKEIT DES PORZELLANS DURCH VERSCHIEDENE BEARBEITUNGSMETHODEN BEIM BRENNEN VERÄNDERT?

INAUGURAL-DISSERTATION
ABGEFASST ZUR ERLANGUNG
DER DOKTORWÜRDE IN DER ZAHNHEILKUNDE
UND EINER HOHEN MEDIZINISCHEN FAKULTÄT
DER UNIVERSITÄT MÜNCHEN
VORGELEGT VON
LORENZ SCHEINER

1937

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA40153307_0153

IN WIEWEIT WIRD DIE FESTIGKEIT DES PORZELLANS DURCH VERSCHIEDENE BEARBEITUNGSMETHODEN BEIM BRENNEN VERÄNDERT?

INAUGURAL-DISSERTATION

ABGEFASST ZUR ERLANGUNG
DER DOKTORWÜRDE IN DER ZAHNHEILKUNDE
UND EINER HOHEN MEDIZINISCHEN FAKULTÄT
DER UNIVERSITÄT MÜNCHEN
VORGELEGT VON

LORENZ SCHEINER

1937

Referent: Privatdozentin Dr. Dr. Maria Kösters

Während noch Ende des vorigen Jahrhunderts die Verwendung von Gold und anderen Edelmetall-Legierungen in der Zahnheilkunde als erstrebenswert galt, geht die Tendenz der modernen Zahnersatzkunde dahin, an deren Stelle weitgehend Porzellan zu verwenden.

Dies ist zum größten Teil durch die höheren Ansprüche, die von seiten der Patienten gestellt werden, bedingt. Vielleicht spielt dabei auch die Mode eine gewisse Rolle; war es doch früher sogar Sitte, sich kleine Diamanten oder Perlen in kariöse Höhlen setzen zu lassen. Darauf folgte eine Zeit, die sich durch die Vorliebe für Gold auszeichnete. Je mehr Zähne überkront oder mit Inlays versehen waren, desto mehr hob sich das Ansehen und die äußere Erscheinung des Trägers. Peinlichst wurde darauf geachtet, daß man recht viel Gold sehen konnte.

Heute hat sich das grundlegend geändert. Eine möglichst naturgetreue und unauffällige Wiederherstellung des Zahndefektes ist der Wunsch fast aller Patienten. Diesem Wunsche wird aber nur die Porzellanfüllung oder die Jacketkrone mit ihrer individuellen Herstellung, Modellation und Färbung gerecht.

Ein weiterer Grund für die Verwendung von Porzellan ist in der Goldersparnis zu sehen. Abgesehen davon, daß ein großer Teil des verarbeiteten Goldes durch den Tod des Trägers dem Volksvermögen unwiederbringlich verloren geht, ist es heute selbstverständliche Pflicht, mit dem für uns Deutsche

so wertvollen Material so sparsam wie nur irgendwie möglich umzugehen. Hilfreich steht uns dabei die Deutsche Industrie zur Seite. Wir sehen dies an der Menge der angebotenen weißen Edelmetall-Legierungen, die, was Verarbeitung und Güte anbetrifft, dem Golde ohne weiteres gleichzusetzen sind. In kosmetischer Hinsicht übertreffen sie das Gold bestimmt. Aber auch Legierungen enthalten in mehr oder weniger hohem Prozentsatz Gold. Anders ist dies bei der Verarbeitung von Porzellanmassen, hier sind wir vom Golde vollständig unabhängig. Dieser Punkt wird sicher auch dazu beitragen, daß heute immer mehr Porzellan zur Verwendung gelangt. Außerdem haben die uns zur Verfügung stehenden Massen eine Güte erreicht, welche den vielerlei an sie gestellten Anforderungen zum größten Teile gerecht werden.

Fassen wir die Forderungen kurz zusammen: Wir verlangen von einer Masse, daß sie nach dem letzten Brand eine Tranzparenz aufweist, die der des natürlichen Zahnes nicht nachsteht, der Glanz darf nicht speckig, sondern muß matt sein.

Die Farbenauswahl muß entsprechend den sehr unterschiedlichen Zahnfarben eine reiche sein.

Eine große Temperaturwechselbeständigkeit, bedingt durch den raschen Brenn- und Abkühlungsprozeß, wird verlangt.

Das zu brennende Stück soll sich im Feuer nicht verziehen, es muß stand- und kantenfest sein, die Masse soll während des Brennens möglichst wenig schrumpfen.

Vor allen Dingen aber muß sie den Anforderungen auf hohe Bruch-, Biege-, Schlag- und Splitterfestigkeit auch bei stärkstem Kaudruck entsprechen.

Wie schon angeführt, erfüllen die uns heute zur Verfügung stehenden Massen zum größten Teil diese Forderungen. Zweck

dieser Arbeit ist es nun, die Festigkeit des Porzellans bei verschiedenen Brennmethoden an einer großen Zahl von Versuchsplättchen zu prüfen. Bei den Brennprozessen selbst bin ich teilweise von den durch die einzelnen Herstellungsfirmen aufgestellten Verarbeitungsvorschriften bewußt abgewichen, um aus den Ergebnissen Folgerungen für die Praxis ziehen zu können.

Jeder Praktiker, der sich mit Keramik beschäftigt, wird öfters bewußt oder unbewußt von diesen Vorschriften abgehen.

Die Fehler, die sich beim Verarbeiten von Porzellanmassen einschleichen, können mannigfaltiger Art sein. Schon beim Anrühren der Massen ist ein Verlassen der Gebrauchsanweisung möglich. Vielleicht ist auch das verwendete destillierte Wasser nicht mehr einwandfrei, oder der Prozentgehalt des Alkohols ist durch irgendwelche Umstände nicht mehr der verlangte. Abweichungen, die beim Verarbeiten der Massen vor dem Brennen gemacht wurden, sollen hier nicht berücksichtigt werden. Es soll nur untersucht werden, ob ein Verlassen der Vorschriften beim Brennen irgendwelche Folgen hat und ob diese so groß sind, daß sie praktische Bedeutung erlangen, das heißt, ob die Festigkeit des Werkstückes in irgendeiner Form darunter leidet.

Um die Veränderungen, die das Porzellan während des Brennprozesses durchmacht, zu verstehen, ist es nötig, die Zusammensetzung des Materials und die Eigenschaften der einzelnen Bestandteile zu kennen. Die Rohstoffe des Porzellans sind in der Hauptsache: Kaolin, Quarz und Feldspat.

Betrachten wir zuerst das Kaolin: Der Schmelzpunkt des reinen Kaolins liegt bei 1750°. Ohne Zusätze gebrannt wird es bei den für uns in Frage kommenden Temperaturen hart,

ohne eine Glasur zu erreichen. Durch seine schwere Schmelzbarkeit ist das Kaolin ein Mittel, das der Porzellanmasse eine gewisse Standfestigkeit beim Brennen gibt. Aus der geringen Tendenz zur Verglasung ergibt sich weiter, daß das Kaolin für das opake Aussehen des Porzellans verantwortlich ist. Alle mit Kaolin versetzten Porzellanmassen sind im ungebrannten Zustand gut formbar. Ein Charakteristikum des echten Porzellans sind die Silimanit-Kristalle, diese entstehen durch Einwirkung des Feldspates auf Kaolin bei einer Temperatur von mindestens 1350° C.

Der Quarz als zweiter Bestandteil trägt wesentlich zur Härte des Brenngutes bei. Bei hoher Temperatur erfährt der Quarz eine Volumenvergrößerung bis zu 18%, die zu einer Auflokkerung des Brenngutes führt. Wichtig ist, daß der Quarz den weitaus größten Teil des Glases ausmacht, so daß dessen Prozentgehalt in der Porzellanmasse die nähere oder weitere Verwandtschaft mit dem Glas angibt.

In der allgemeinen Porzellanindustrie findet der dritte Bestandteil, der Feldspat, ausgiebige Verwendung als Flußmittel. Man erzielt dadurch eine Herabsetzung des sonst schwer schmelzbaren Kaolins und Quarzes. Der Schmelzpunkt des Feldspates beträgt 1250° C. Er beginnt bei geringer Temperatur zu erweichen und bleibt dann bis zur höchsten Temperatur in einem zähen Schmelzfluß.

Wie sich aus der folgenden Zusammenstellung ergibt, können wir aus dem hohen Schmelzpunkt des als Flußmittel verwendeten Feldspates schließen, daß die in der Zahnheilkunde gebräuchlichen Massen auch noch andere, bedeutend niederer schmelzende Flußmittel enthalten müssen.

Es sind dies meist Chemikalien, wie Kaliumkarbonat, Na-

triumkarbonat, Kaliumphosphat, Borax, Bleioxyd und andere, deren Schmelzpunkt bei ungefähr 800° C liegt.

Ein echtes, d. h. ein Porzellan im technischen Sinne hat etwa folgende Zusammensetzung:

55 Teile Kaolin
23 Teile Quarz
22 Teile Feldspat.

Aus dieser Zusammensetzung ergibt sich, daß der Schmelzpunkt eines solchen Porzellans ungefähr 1400° bis 1500° C beträgt. Nachdem die von uns verwendeten Porzellanmassen bei bedeutend niederer Temperatur schmelzen, können wir folgern, daß der Flußmittelgehalt auf Kosten des Kaolingehaltes heraufgesetzt sein muß. Ein derartiges Porzellan hat ungefähr folgende Zusammensetzung:

2 bis 5 Teile Kaolin
35 Teile Quarz
65 bis 68 Teile Flußmittel.

Diese Angabe ist natürlich nur eine ungefähre, da ja jede Firma die genaue Zusammensetzung ihrer Massen geheim hält.

Der Name Porzellan ist bei einem solchen Werkstoff also gar nicht mehr zutreffend. Wir haben es eher mit einem unvollkommenen Glase zu tun, wobei nach Moral dem Kaolin nur die Rolle zufällt, durch seine Gegenwart im Sinne einer opaken Füllmasse die Durchsichtigkeit der Masse herabzusetzen.

Betrachten wir jetzt die ungefähre Zusammensetzung eines Natriumglases:

75 Teile Quarz
12 Teile Kalziumkarbonat
13 Teile Natriumkarbonat.

Beim Vergleich dieser beiden Angaben fällt uns die vorher schon geschilderte nahe Verwandtschaft sofort auf. Bei beiden Stoffen spielt der Quarz die Rolle des festen Grundkörpers. Die andern Bestandteile sind als Flußmittel zu betrachten, wobei der geringe Kaolingehalt beim Porzellan nur Füllsel ist, dessen Aufgabe ich vorher schon schilderte.

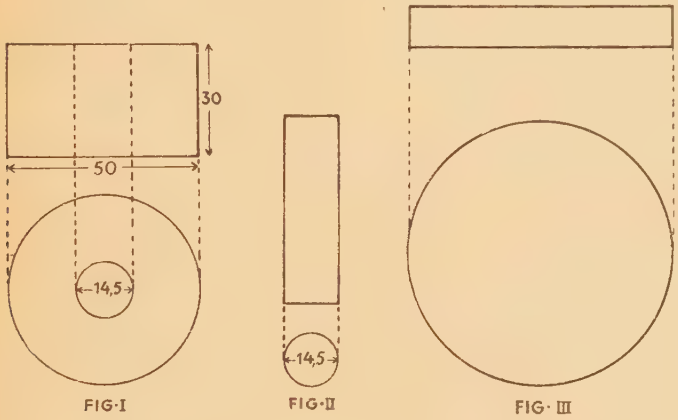
Es erhebt sich nun die Frage, ob diese Annäherung des Porzellans an das Glas für uns überhaupt Vorteile bringt oder ist es eher als Nachteil zu bewerten? Ein großer Vorteil ist zweifelsohne darin zu erblicken, daß der Schmelzpunkt der Massen stark herabgesetzt ist. Dadurch tritt unter Umständen eine ganz beträchtliche Verminderung der Arbeitszeit ein. Weiter wäre zu erwähnen, daß die Anforderungen, die wir an unsere Öfen stellen, gesenkt werden können.

Die Lebensdauer der Platinwicklung oder der Silitstäbe wird dadurch natürlich wesentlich verlängert. Bedenken wir ferner, daß wir das Glas durch Variationen in der Zusammensetzung und durch spezielle Verarbeitungsmethoden feuerfest, splitterfest usw. machen können. Durch die Annäherung unserer Materialien an das Glas haben wir also die Möglichkeit, die zur Verwendung gelangenden Massen unseren Bedürfnissen anzupassen.

Auch in kosmetischer Hinsicht bedeutet es sicherlich eine Verbesserung. Wie wir schon gesehen haben, ist das Kaolin nur mehr opakes Füllmittel, durch dessen Zurücktreten steigt die Transparenz und Transluzenz des fertig gebrannten Ersatzes. Gleichzeitig fällt aber, durch die schwere Schmelzbarkeit des Kaolins bedingt, die Standfestigkeit im Feuer. Wir sind damit bei den Nachteilen angelangt. Ich darf annehmen, daß jeder, der sich mit der Herstellung von Inlays oder Mantel-

kronen abgibt, aus Unachtsamkeit den vorgeschriebenen Schmelzpunkt schon einmal überschritten hat. Die Folge davon ist eine graue, glasartig glänzende Kugel.

Ob nun auch die Festigkeit des fertig gebrannten Werkstückes fällt, ist eine Frage, die heute noch sehr umstritten und die zu klären nicht Sinn der gestellten Aufgabe ist, wenngleich wir auch auf Grund der vorausgegangenen Betrachtungen die Wahrscheinlichkeit nicht von der Hand weisen können.

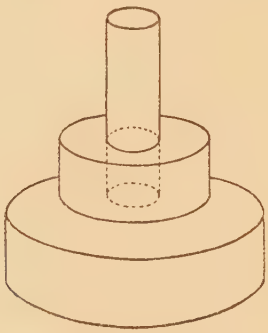


FIG·I FIG·II FIG· III

Nun zu meinen Untersuchungen selbst. Es wurden von der Firma Wienand die WH und WL Massen, von der Firma Hutschenreuther die Recta I und Recta II Massen erprobt. Um für alle Versuchsplättchen gleiche Bedingungen zu schaffen, stellte ich mir eine Form her. Eine Stahlplatte (Fig. 1) von 30 mm Höhe und 50 mm Durchmesser wurde durchbohrt. In das Bohrloch von 14,5 mm wurde ein Stahlstab (Fig. 2) genau eingepaßt. Für beide Teile wurde noch eine plane Unterlage (Fig. 3) aus Stahl geschaffen.

An den Stahlstab wurde in der Höhe von 26 mm eine Markierung angebracht. Wurde der Stab bis zur Markierung in die durchlochte Platte eingeführt, so entstand an der Unterseite ein Hohlraum von 4 mm Höhe und 14,5 mm Durchmesser.

In diesen Raum wurde die genau nach Fabrikvorschrift angerührte Porzellanmasse eingeführt und glatt gestrichen, die Unterlage daraufgelegt, alle Teile zusammen umgedreht und die Unterlage wieder weggeschoben. Auf diese Weise gelang es, alle Begrenzungsflächen der Versuchsplättchen glatt zu gestalten.



Nach einiger Zeit des Trocknens der Masse wurde der Stempel ganz durch seine Führung hindurchgedrückt und die Masse befand sich auf dem einen Stempelende. Nach genügender Trocknung brauchte ich den Stempel nur umzudrehen und die Masse löste sich ohne weiteres ab. Ich ging dabei immer so vor, daß ich das Plättchen gleich auf eine Brennschale mit feinst gemahlenem Quarzsand aus einer kaum nennenswerten Höhe von $^1/_2$ bis 1 mm fallen ließ. So ist es mir gelungen, die Form aller noch ungebrannten Plättchen genau gleich groß zu halten.

Gebrannt wurde im Udo-Dental-Elektro-Ofen mit dem Spezial-Pyrometer. Dabei war ich mir bewußt, daß das Brennen nach dem Pyrometer ohne Zuhilfenahme des Auges nicht genau sein konnte. Nachdem es sich aber um vergleichende Prüfungen handelte und ich für jedes Plättchen dieselbe Stellung des Zeigers auf der Skala innehielt und jedes Plättchen in genau derselben Zeit brannte, glaube ich zu besseren Resultaten gelangt zu sein, als wenn ich nur nach dem Auge die verschiedenen Stufen des erreichten Garbrandes kontrolliert hätte. Da ja keramische Massen eine sehr langsame Reaktionsfähigkeit besitzen, muß man ihnen Zeit lassen, damit die physikalischen Veränderungen eintreten können. So wird z. B. eine Masse, die innerhalb einer gewissen Zeit einen gewissen Brenngrad erreicht hat, denselben Brenngrad ebenfalls erreichen bei wesentlich niederer Temperatur, wenn die Brennzeit entsprechend verlängert wird. Selbstverständlich muß diese geringere Temperatur noch innerhalb des Schmelzintervalls liegen, das bei unseren Massen bei 80^0 bis 100^0 unter dem von den Firmen angegebenen Schmelzpunkt beginnt.

In der Keramik müssen wir ja genau so wie in der Metallurgie einen Erweichungs- und einen Schmelzpunkt unterscheiden, zwischen denen das Schmelzintervall liegt. Aus diesem Grunde habe ich auch die Zeitbestimmung während des Brennens genau eingehalten.

Befassen wir uns zunächst mit der Verarbeitung der Wienand-Porzellanmassen. Die Wienand WH Keramikmasse ist für die Verarbeitung von Porzellanmantelkronen gedacht. Der Schmelzpunkt liegt nach Angabe der Firma bei 1350^0. Als Verarbeitungsmethode wird angegeben: Anrühren mit

destilliertem Wasser zu einem dicken Brei mittels eines Achatinstrumentes und Auftragen mit einem feinen Haarpinsel. Ich hielt mich genau an diese Anleitung und trug die Masse in meine Form ein. Hierauf ließ ich sie 10 Minuten an der Luft trocknen und dann 10 Minuten vor geöffnetem Ofen, da ja der Udo-Ofen keine Vorwärmemuffel besitzt. Sodann brachte ich die Plättchen bei 1150° in den Ofen und ließ ihn innerhalb 8 Minuten bis 1250° steigen. Nach Erreichung dieser Temperatur ließ ich sie im Ofen bis 800° und nach Herausnahme eine Viertelstunde unter einer Tonhaube abkühlen. Auf diese Weise fertigte ich 18 Plättchen an. Davon brannte ich je 6 Stück dreimal, 6 Stück sechsmal und 6 Stück zehnmal.

Den zweiten und jeden folgenden Brand gestaltete ich so, daß ich 5 Minuten vor dem geöffneten Ofen vorwärmte. Ein Lufttrocknen kam in Wegfall, da ja bei den Versuchsplättchen keine neue Masse mehr aufgetragen wurde. Der Brand selbst wurde in 4 Minuten von 1250° auf 1300° ausgeführt. Beim jeweiligen Schlußbrand, also beim dritten, sechsten und zehnten Brand (je nachdem wie oft die Plättchen im ganzen gebrannt werden sollten) wärmte ich ebenfalls 5 Minuten vor und brannte dann in 6 Minuten von 1275° auf 1350°.

6 Versuchsplättchen stellte ich her, indem ich die Masse nach dem Lufttrocknen und Vorwärmen in einem Brand von 1275° auf 1350° in 8 Minuten brannte.

Weitere 6 Plättchen brannte ich einmal, und zwar nur bis zu einer Temperatur von 1300°. Trotzdem wiesen dieselben bereits einen leichten Glanz auf. Weitere 6 Plättchen wurden bis 1400° gebrannt. Ein Verlaufen der Konturen trat hierbei noch nicht ein, der Glanz selbst war schon etwas zu intensiv.

Dieselbe Menge Versuchsplättchen stellte ich mit der Wienand WL Masse her. Die Masse wurde mit Alkohol angerührt und beim letzten Brand jeweils bis 950° erwärmt. Das Vorwärmen geschah in derselben Art wie bei der WH Masse. Auch hier fertigte ich je 6 Plättchen an, die unter bzw. überbrannt waren.

In den nächsten Versuchen befaßte ich mich mit Massen der Firma Hutschenreuther und benützte dabei die Recta I und Recta II Masse.

Recta I, eine schwer schmelzende Masse, deren Schmelzpunkt bei 1340° angegeben wird, wurde mit destilliertem Wasser zu einem homogenen Brei angerührt, der nach Vorschrift bei Schräghaltung der Unterlage Neigung zum Fließen zeigte, aber dennoch nicht abfloß. Die Verdichtung der Masse, die von der Firma empfohlen wird, machte ich durch einfachen Druck auf den Stempel nach zusammengesetzter Form. Die austretende Flüssigkeit wurde mittels Fließpapier weggesaugt.

Das Vorwärmen geschah in derselben vorsichtigen Weise wie bei den Massen der Firma Wienand.

Da die Firma Hutschenreuther auf Angabe der Brenndauer und Temperaturhöhe in den einzelnen Phasen verzichtet, habe ich den ersten Brand in 8 Minuten bei einer Temperatur von 1250° ausgeführt. Der letzte Brand ging jeweils bis 1340° innerhalb 6 Minuten. Dabei wurde das Brenngut bei jedem Brand in den Ofen gebracht, der 50° unter der zu erreichenden Temperatur war.

Die Recta II Masse wurde in derselben Art angerührt und gebrannt, aber nur bis zu einer Temperatur von 1080° bei den ersten Bränden und bis 1150° beim letzten Brand.

Tabelle der gebrannten Plättchen.

	Hutschenreuther		Wienand	
	Recta I 1340° C	Recta II 1150° C	WH 1350° C	WL 950° C
Einmal gebrannt . .	6 Plättchen	6 Plättchen	6 Plättchen	6 Plättchen
Dreimal gebrannt . .	6 „	6 „	6 „	6 „
Sechsmal gebrannt .	6 „	6 „	6 „	6 „
Zehnmal gebrannt .	6 „	6 „	6 „	6 „
Überbrannt um 50° .	6 „	6 „	6 „	6 „
Um 50° zu niedergeb.	6 „	6 „	6 „	6 „

Von den vier zur Probe gelangenden Massen versuchte ich Plättchen herzustellen, die, ohne zu trocknen, in den Ofen gebracht wurden. Die Folge war bei den mit Wasser angerührten Massen ein fast augenblicklicher Zerfall. Die mit Alkohol angerührten gingen in Flammen auf und zerfielen dann ebenso rasch. Waren sie bereits etwas angetrocknet, so trat zwar kein Zerfall ein, aber nach dem Brand und der langsamen Abkühlung waren die Plättchen von lauter Rissen durchzogen, so daß sie für weitere Versuche unbrauchbar waren.

Ebenso versuchte ich Plättchen herzustellen, die nicht langsam abgekühlt wurden. Aber auch das scheiterte vollständig, ich nahm sie nach dem Schlußbrand aus dem Ofen und stellte die Schale in einiger Entfernung auf den Tisch. Die Folge war ein deutlich hörbares Krachen im Porzellangefüge und dann ein Zerspringen, wobei die einzelnen Splitter bis zu einem Meter Entfernung von der Schale niederfielen.

Damit war bei diesen beiden Versuchen die Beantwortung der gestellten Aufgabe gelöst.

Der Vergleich aller anderen fertigen Versuchsplättchen ergab eine deutliche Verschiedenheit sowohl in der Stärke als auch im Durchmesser. Nachdem alle vor dem Brennen auf gleiche Größe gebracht waren, konnte dies nur durch die verschiedene Sinterung bei den einzelnen Bränden hervorgerufen worden sein; und zwar konnte ich als Nebenbefund feststellen, daß die mittelschmelzenden Massen stärker sinterten als die hochschmelzenden. Diese Sinterung war um so größer, je öfter die einzelnen Plättchen gebrannt wurden. Nachdem aber die Festigkeit des Porzellans auch von der Stärke der Plättchen abhängig ist, konnte ich sie so keiner weiteren Prüfung unterziehen, ohne die Ergebnisse der Untersuchungen zu gefährden.

In zuvorkommender Weise wurde mir von einer Münchener optischen Werkstätte gestattet, meine Versuchsplättchen unter Anleitung eines Fachmannes, selbst zu beschleifen. Zuerst brachte ich sie alle auf gleiche Stärke. Der Arbeitsgang war folgender: Eine Stahlplatte mit planer Oberfläche, 20 cm Radius und 2 cm Stärke, wurde mit Hilfe eines Bunsenbrenners von unten her erwärmt; auf die warme Platte wurde Siegellack gebracht und die Versuchsplättchen darin eingedrückt, so daß sie in direkter Berührung mit der Platte waren. Nachdem ein Anzeichnen der einzelnen Plättchen zur nachherigen Unterscheidung nicht möglich war, half ich mir so, daß ich jede einzelne Partie in eine bestimmte Figur legte und dieselbe auf ein Blatt Papier zeichnete. Auf diese Weise konnte ich sämtliche Plättchen auf einmal beschleifen und sie nachher mühelos unterscheiden. Nach Entfernung des Bunsenbrenners und einer Stunde Wartezeit war die Stahlplatte mit den darauf befestigten Plättchen abgekühlt. Die Platte wurde nun in eine Maschine gebracht und durch Einschaltung des Motors in

Drehung versetzt. Von oben her wurde eine zweite Stahlplatte mit kleinerem Durchmesser darauf gesenkt und mit grobem Schmirgel beschickt. Die Bewegung dieser zweiten Platte war derart, daß sie langsam über die ganze Fläche der unteren schliff. Nach zwei Stunden, während immer wieder Schmirgel zugefügt wurde, waren alle Plättchen über die ganze Fläche angeschliffen. Daraufhin wurde abgewaschen und mit feinerem und zuletzt mit feinstem Schmirgel weiter geschliffen. Die untere Platte wurde nun aus der Maschine genommen und die Plättchen ausgebettet, der daran haftende Siegellack sodann mit Benzin abgewaschen. Denselben Vorgang wiederholte ich mit dem Unterschied, daß diesmal die angeschliffene Seite auf die Stahlplatte gebracht wurde. Besonders wurde darauf geachtet, daß sich zwischen der Stahlplatte und den Versuchsplättchen kein Siegellack befand und alle Plättchen plan auflagen.

Nach dem zweiten Schliff wurden die Plättchen gemessen, die Stärke war für alle ganz gleichmäßig 2,243 mm. Also eine Übereinstimmung bis zum $^1/_{1000}$ mm. Auf eine noch genauere Messung wurde verzichtet, zumal anzunehmen war, daß sie keine Abweichung in der Stärke aufgezeigt hätte, nachdem doch alle Plättchen zusammen unter den gleichen Bedingungen beschliffen wurden. Zur Erzielung eines gleichen Durchmessers ging ich so vor: Die Plättchen wurden in einer Maschine zwischen zwei Gummischeiben von etwas kleinerem Durchmesser gepreßt und zur Rotation gebracht, maschinell nun ganz langsam an eine entgegengesetzt laufende feinste Schleifscheibe bis zu einem gewissen Punkte genähert. Dieser Punkt ließ sich genau einstellen und arritieren, so daß beim Erreichen desselben selbsttätig keine weitere Näherung mehr stattfand.

Es gelang so, den Durchmesser jedes einzelnen Plättchens auf genau derselben Größe zu halten, er betrug 13 mm.

Die Vorarbeiten für die zu beantwortende Frage waren damit gelöst, und ich konnte darangehen, die Plättchen auf ihre Festigkeit zu prüfen.

Die Versuche wurden an der Technischen Hochschule nach Rücksprache mit Herrn Professor Dr. Huber durchgeführt. Es wurde dabei folgender Weg eingeschlagen:

1. Prüfung auf Härte bei Sprungbelastung, d. h. welche Belastung in kg/cm² ist nötig, um ein Versuchsplättchen bei planer Auflage zum Zerspringen zu bringen. Ausgedrückt werden die Ergebnisse durch die Spannung beim Bruch.
2. Prüfung auf Biegefestigkeit.

Die Versuchs-Anordnung bei der Prüfung auf Härte bei Sprungbelastung war: Jedes einzelne Plättchen wurde in einer Belastungsmaschine auf ein planes Stahlstück gelegt und von oben von einer Stahlkugel mit 5 mm Durchmesser im Mittelpunkt getroffen. Durch Drehen eines Handrades konnte auf das Plättchen ein sich steigernder Druck ausgeübt werden. Die aufgewandte Belastung in kg zeigte eine Skala an, die mit Zeiger und Schleppzeiger versehen war. Beim Sprung des Plättchens schnellte der Zeiger auf Null zurück. Der Schleppzeiger blieb stehen, so daß eine genaue Ablesung möglich war. Von jeder Versuchsreihe wurden auf diese Weise drei Plättchen geprüft.

Bei der Prüfung auf Biegefestigkeit benützte ich als Unterlage einen Körper aus Silberstahl, der einen Durchmesser von 12 mm aufwies. Dieser Durchmesser war demnach um 1 mm geringer als der meiner Plättchen. Die Höhe der Unterlage betrug 18 mm. An einem Ende wurde eine Vertiefung ein-

gebohrt, die nach unten konisch zulief und oben einen Rand von 0,2 mm stehen ließ. Jedes daraufgelegte Plättchen war so am Rand abgestützt. Belastet wurde jedes Plättchen wieder mit der schon vorher benützten Stahlkugel, und zwar genau im Mittelpunkt, was sich leicht erreichen ließ, da ich die Unterlage nie verschob. Alle Werte trug ich in eine Tabelle ein und berechnete das jeweilige Mittel.

Die Ausnützung der Mittelwerte bei Härte auf Sprungbelastung geschah nach der Formel von Hertz:

$$\sigma_0 = 0{,}338 \cdot \sqrt[3]{\frac{P \cdot E^2}{r^2}} \text{ kg/cm}^2$$

Wobei σ_0 die Spannung beim Bruch in kg/cm² angibt.

P ist der aufgewendete Druck in kg.

E der Elastizitätsmodul in kg/cm², den wir bei den zur Verwendung gelangten Massen einheitlich als 800000 annehmen dürfen.

r ist der Radius der Stahlkugel in cm.

Die sich hieraus ergebenden Werte sind in den Tabellen I, II, III und IV aufgezeichnet.

TABELLE I

Wienand WH Masse 1350° C

Brände	Bruch bei kg	Bruch bei kg	Bruch bei kg	Mittel in kg	Spannung beim Bruch in kg/cm²
bis 1400° C . . .	56	51	53	53,33	31715
bis 1300° C . . .	92	89	90	90,33	37804
einmal gebr. bis 1350° C . .	49	47	41,5	44,75	29913
dreimal gebr. bis 1350° C . .	45	78	42	55	32042
sechsmal gebr. bis 1350° C . .	73	74	69	72	35051
zehnmal gebr. bis 1350° C . .	72	83	80	78,33	36049

TABELLE II

Wienand WL Masse 950° C

Brände	Bruch bei kg	Bruch bei kg	Bruch bei kg	Mittel in kg	Spannung beim Bruch in kg/cm²
bis 1000° C . . .	40	42	41	41	29053
bis 900° C	65	65	64	64,66	33818
einmal gebr. bis 950° C . .	58,5	58	59	58,5	32708
dreimal gebr. bis 950° C . .	52	58	56	55,33	32106
sechsmal gebr. bis 930° C . .	45	35	46	42	29287
zehnmal gebr. bis 950° C . .	79	68	65	70,43	34796
zehnmal gebr. bis 950° C . .	69	72,5	71	70,5	34806

TABELLE III

Hutschenreuther Recta I Masse 1340° C

Brände	Bruch bei kg	Bruch bei kg	Bruch bei kg	Mittel in kg	Spannung beim Bruch in kg cm²
bis 1390° C . . .	48	50	46	48	30620
bis 1290° C . . .	119	99	110	110	40061
einmal gebr. bis 1340° C . .	92	89	90	90,33	37804
dreimal gebr. bis 1340° C . .	67	59	90	72	33051
sechsmal gebr. bis 1340° C . .	49	59	67	58,33	32676
zehnmal gebr. bis 1340° C . .	57	56	56	56,33	32298

TABELLE IV

Hutschenreuther Recta II Masse 1150° C

Brände	Bruch bei kg	Bruch bei kg	Bruch bei kg	Mittel in kg	Spannung beim Bruch in kg cm²
bis 1200° C . . .	44	38	52	44,66	29993
bis 1100° C . . .	65	60	63	62,5	33436
einmal gebr. bis 1150° C . .	63	60	80	67,33	34277
dreimal gebr. bis 1150° C . .	63	53	50	55,33	32106
sechsmal gebr. bis 1150° C . .	56	56	53	55	32042
zehnmal gebr. bis 1150° C . .	34	53	56	47,6	30535

Zur Errechnung der Biegefestigkeit, die für uns am wichtigsten ist, gilt die Bach'sche Näherungsformel:

$$\sigma = \frac{3\,P}{\pi\,h^2}\ \mathrm{kg/cm^2}$$

Hierbei ist σ die Biegungsfestigkeit in kg/cm^2.

P die Bruchlast in kg, also die Last bei der der Bruch eintritt.

h die Dicke des Versuchsplättchens = 2,243 mm.

π als Konstante = 3,14159.

Die sich dabei errechneten Werte ergeben die Tabellen V, VI, VII und VIII.

TABELLE V
Wienand WH Masse 1350°C

Brände	Bruch bei kg	Bruch bei kg	Bruch bei kg	Mittel in kg	Biegungsfestigkeit in kg/cm²
bis 1400°C . . .	2,0	3,0	3,0	2,66	48,7
bis 1300°C . . .	2,0	2,5	2,0	2,16	40,5
einmal gebr. bis 1350°C . .	6,0	5,0	4,0	5,0	94,9
dreimal gebr. bis 1350°C . .	18,0	21,0	19,0	19,3	361,8
sechsmal gebr. bis 1350°C . .	10,0	10,0	9,0	9,66	181,1
zehnmal gebr. bis 1350°C . .	4,0	9,0	9,0	7,33	137,4

TABELLE VI
Wienand WL Masse 950°C

Brände	Bruch bei kg	Bruch bei kg	Bruch bei kg	Mittel in kg	Biegungsfestigkeit in kg/cm²
bis 1000°C . . .	2,0	3,0	3,0	2,66	49,8
bis 900°C	4,0	4,0	3,0	3,66	68,6
einmal gebr. bis 950°C . .	9,0	8,0	8,5	8,5	159,3
dreimal gebr. bis 950°C . .	6,0	7,0	7,0	6,66	129,7
sechsmal gebr. bis 950°C . .	4,0	3,0	3,5	3,5	65,6
zehnmal gebr. bis 950°C . .	3,0	3,0	2,0	2,66	48,7

TABELLE VII

Hutschenreuther Recta I Masse 1340° C

Brände	Bruch bei kg	Bruch bei kg	Bruch bei kg	Mittel in kg	Biegungsfestigkeit in kg/cm²
bis 1390° C . . .	4,0	5,0	5,0	4,66	87,3
bis 1290° C . . .	9,0	6,0	8,0	7,66	143,6
einmal gebr. bis 1340° C . .	4,0	4,0	4,5	4,56	78,0
dreimal gebr. bis 1340° C . .	3,0	4,0	3,5	3,5	65,6
sechsmal gebr. bis 1340° C . .	2,0	1,5	2,0	1,83	34,3
zehnmal gebr. bis 1340° C . .	1,0	1,0	2,0	1,33	24,9

TABELLE VIII

Hutschenreuther Recta II Masse 1150° C

Brände	Bruch bei kg	Bruch bei kg	Bruch bei kg	Mittel in kg	Biegungsfestigkeit in kg/cm²
bis 1200° C . . .	7,0	6,5	6,5	6,66	129,7
bis 1100° C . . .	9,0	8,0	7,5	8,16	153,0
einmal gebr. bis 1150° C . .	8,0	6,0	6,5	6,83	128,1
dreimal gebr. bis 1150° C . .	4,0	4,0	3,5	3,8	71,2
sechsmal gebr. bis 1150° C . .	2,0	4,0	5,0	3,66	68,6
zehnmal gebr. bis 1150° C . .	3,0	2,0	3,0	2,666	49,8

Betrachten wir nun diese acht Tabellen, so sehen wir, daß wir keine starren Ergebnisse aus den Versuchen ziehen können. Wir dürfen sagen, daß jede Masse ein anderes Verhalten zeigt. Durchaus verschieden sind auch die Resultate bei der Härte auf Sprungbelastung und bei der Biegungsfestigkeit, wenn wir diese Werte untereinander in Beziehung stellen wollen. Das treffendste Beispiel zeigt uns hierbei die Wienand WH Masse. In Tabelle I steigen die Ergebnisse vom ersten normalen Brand, aufwärts bis zum zehnten Brand. In Tabelle V dagegen haben wir nach dem dritten Brand ein Abfallen.

Im einzelnen gesehen, ergibt sich aus Tabelle I Wienand WH Masse, daß die geringste Bruchspannung bei einmaligem Brand auf 1350° C erreicht wird.

Je öfter gebrannt wird, desto höher steigen die Werte.

Das zu hoch gebrannte Porzellan steht in seiner Bruchspannung zwischen einmal und dreimal gebranntem. Das zu nieder gebrannte erreicht den höchsten Wert.

Die Tabelle der Wienand WL Masse zeigt andere Ergebnisse. Niederste Bruchspannung bei überbranntem Porzellan, zu nieder gebranntes zeigt relativ hohen Wert.

Bei öfterem Brand fällt dieser, um bei zehnmaligem Brand wieder anzusteigen; worauf diese letzte Erscheinung beruht, kann ich mir nicht erklären. Zur Sicherheit führte ich denselben Versuch unter den gleichen Bedingungen wieder aus und bekam dabei fast denselben Wert. Damit dürfte bewiesen sein, daß dieses Ergebnis nicht auf Grund einer falschen Probe beruht. Vielleicht macht gerade diese Masse bei öfterem Brennen eine innere Umwandlung durch, die eine Steigerung der Bruchspannung zur Folge hat.

Aus Tabelle III für Hutschenreuther Recta I Massen entnehmen wir: Überbranntes Porzellan verträgt die geringste Sprungbelastung. Den höchsten Wert weist die nicht genügend gebrannte Masse auf. Bei normaler Temperatur zeigt einmaliger Brand die höchste Bruchspannung, bei jedem weiteren Brand fällt dieselbe. Ähnliche Verhältnisse finden wir in Tabelle IV, Hutschenreuther Recta II Masse: Niederster Wert wenn überbrannt wurde. Höchster bei einmaligem normalem Brand. Jeder weitere Brand läßt die Ergebnisse fallen. Nicht genügend gebranntes Porzellan steht in seinem Wert zwischen einmal und dreimal gebrannter Masse.

Zusammenfassend können wir bei diesen Versuchen sagen, daß alle Massen durch falsches Brennen in ihren Werten bei der Sprungbelastung stark verändert werden. Besonders schädlich erweist sich das Überbrennen. Wenn die vorgeschriebene Temperatur nicht ganz erreicht wird, so ist das bei diesen Versuchen eher zum Vorteil als zum Nachteil. Mit Ausnahme der Wienand WH Massen, deren Werte steigen, tritt bei allen anderen, bei öfterem Brand, eine Verminderung der Bruchspannung ein.

Wichtiger als die Bruchspannung für die Praxis der Porzellanarbeiten, ist aber die Biegungsfestigkeit. Betrachten wir die darüber Auskunft gebenden Tabellen:

Tabelle V Wienand WH Massen, erreichen die höchste Biegungsfestigkeit bei dreimaligem normalem Brand. Bei mehrmaligem Brennen fällt sie stark. Ebenso schädlich ist ein Überbrennen. Die Biegungsfestigkeit bei der nicht genügend gebrannten Masse ist noch geringer.

Tabelle VI, Wienand WL Masse. Hier wird der höchste Wert bei einmaligem Brennen erreicht. Bei öfterem Brennen können

wir einen konstanten Abfall der Biegungsfestigkeit feststellen.

Auch hier zeigt es sich, daß ein zu hoher und ein zu niederer Brand von Nachteil ist. Da diese Masse für Inlays gedacht ist, brauchen wir an sie nicht dieselben Anforderungen wie an eine Kronenmasse stellen. Die Ergebnisse zeigen auch einen deutlich geringeren Wert, als sie bei der Wienand WH Masse erreicht wurden.

Die Verhältnisse bei den Hutschenreuther Massen Recta I und Recta II liegen anders. Beide Massen erreichen ihren höchsten Wert bei einer Temperatur, die unter der von der Firma angegebenen liegt.

Ein Überbrennen erweist sich bei der Recta I Masse als nicht schädlich. Die höchste Biegungsfestigkeit weist diese Masse bei einmaligem Brand und Einhaltung der vorgeschriebenen Brenntemperatur auf. Je öfter wir brennen, desto geringer wird dieselbe. Die Recta II Masse zeigt bei einem Überbrennen um 50^0 ungefähr dieselbe Festigkeit wie bei einmaligem normalem Brand. Auch bei dieser Masse fällt der Wert, je öfter wir sie dem Brennprozeß unterziehen.

Auf Grund der vorgenommenen Prüfungen können wir nun folgende Forderungen für die Verarbeitung der Massen beim Brennen aufstellen:

1. Abweichungen von den Brennvorschriften sind schädlich.
2. Öfteres Brennen einer Masse ist von Nachteil, eine Ausnahme macht hierbei die Wienand WH Masse bei den Sprungbelastungsversuchen.

Es taucht nun die Frage auf, ob diese Materialverschlechterung so groß ist, daß sie auch praktische Bedeutung hat.

Der menschliche Kaudruck ist individuell verschieden, als Mittel dürfen wir aber 80 kg/cm^2 annehmen. Freilich kann

er auch viel höher liegen, so haben wir z. B. bei Knirschern einen solchen von 200 bis 300 kg/cm².

Vorausgesetzt, daß die fertige Krone oder die Füllung überall abgestützt ist, spielen die von mir untersuchten Fehler gar keine Rolle. Der niedrigste von mir gefundene Wert ist in diesem Falle 29053 kg/cm², also ein Vielfaches des überhaupt möglichen Kaudruckes.

Haben wir aber keine vollständige Abstützung, so wird das Material auf Biegefestigkeit beansprucht. Die Wienand Massen weisen in diesem Falle bei normaler Verarbeitung eine Biegefestigkeit auf, die dem Kaudruck im allgemeinen gewachsen sein dürfte. Jede falsche Bearbeitung rächt sich aber durch den Bruch des Ersatzes.

Viel empfindlicher sind in dieser Beziehung die Hutschenreuther Recta I und Recta II Massen. In der Regel müssen wir mit einem dreimaligen Brande rechnen, die sich hierbei ergebenden Werte bei normaler Verarbeitung liegen aber bereits unter 80 kg/cm².

Mit diesen Ergebnissen stelle ich mich in Gegensatz zu anderen Arbeiten, die nennenswerte Veränderungen nicht feststellen konnten. Bedingt ist das meines Ermessens nach dadurch, daß die Untersuchungen an Massen durchgeführt wurden, die heute in Deutschland nicht mehr im Handel sind. Versuche, wie ich sie durchführte, sind meines Wissens mit Wienand- und Hutschenreuther-Porzellanmassen noch nicht gemacht worden. Auf jeden Fall glaube ich bewiesen zu haben, daß der Brennprozeß auf die Festigkeit jedes Werkstückes größten Einfluß besitzt. Daneben gilt als oberstes Gesetz für alle Porzellanarbeiten

„die vollständige Abstützung des Ersatzes".

Zum Schlusse ist es mir noch eine angenehme Pflicht, Frl. Privatdozentin Dr. Dr. Maria Kösters für die Überlassung des anregenden Themas sowie für die freundliche Unterstützung bei der Ausarbeitung und Korrektur der Arbeit, herzlichen Dank auszusprechen.

Bester Dank sei an dieser Stelle auch Herrn Professor Dr. Huber und Herrn Dr. Scheufele ausgesprochen, die mir ihre fachlichen Ratschläge angedeihen ließen.

LITERATUR-VERZEICHNIS

Dr. V. Ilg: Zahnärztliche Keramik.
Dr. Hiltebrandt: Die Laboratoriumstechnik der Porzellanmantelkrone.
Dr. Hiltebrandt: Vita Blätter.
W. Heer: Inaugural-Dissertation 1935.
Le Gro-Gratzinger: Zahnärztliche Porzellanarbeiten.

LEBENSLAUF

Am 5. Mai 1911 wurde ich als Sohn des Gewerbelehrers Otto Scheiner und seiner Ehefrau Elisabeth, geb. Keller, zu Düsseldorf geboren. Nach fünfjährigem Besuch der Volksschule kam ich in die Maria-Theresia-Realschule und bestand die Reifeprüfung im Jahre 1935 an der Gisela-Oberrealschule in München. Darauf entschloß ich mich zum Studium der Zahnheilkunde an der Universität in München. Im Herbst 1935 legte ich dortselbst die Vorprüfung und im Oktober 1937 das zahnärztliche Staatsexamen ab.

E. Mühlthaler's Buch- und Kunstdruckerei G. m. b. H. München 2